

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑩ **Offenlegungsschrift**  
**DE 42 17 292 A 1**

②1 Aktenzeichen: P 42 17 292.6  
②2 Anmeldetag: 25. 5. 92  
④3 Offenlegungstag: 2. 12. 93

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**B 23 K 26/04**  
G 01 D 1/02  
G 01 D 3/08  
B 23 Q 17/22  
G 01 B 7/14

DE 42 17 292 A 1

⑦1 Anmelder:

Weidmüller Interface GmbH & Co, 32760 Detmold,  
DE

⑦4 Vertreter:

ter Meer, N., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Müller, F.,  
Dipl.-Ing., 81679 München; Steinmeister, H.,  
Dipl.-Ing.; Wiebusch, M., 33617 Bielefeld; Urner, P.,  
Dipl.-Phys. Ing.(grad.), Pat.-Anwälte, 81679 München

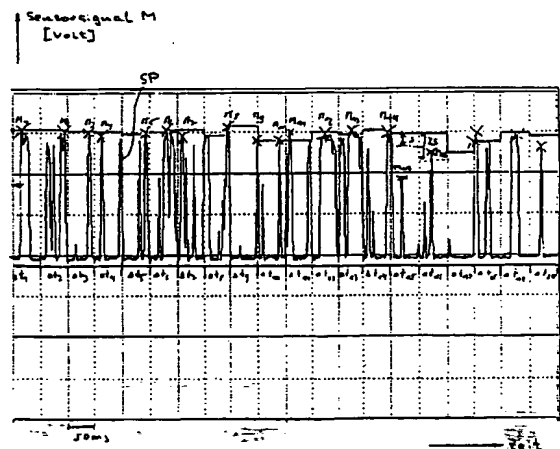
⑦2 Erfinder:

Jagiella, Manfred, Dipl.-Ing., 7500 Karlsruhe, DE;  
Topkaya, Ahmed, Dr.-Ing., 7500 Karlsruhe, DE; Spörl,  
Georg, Dipl.-Ing., 7560 Gaggenau, DE; Wiesemann,  
Wolf, Dr., 7560 Gaggenau, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Kapazitives Abstandsmeßverfahren

⑤7 Bei der kapazitiven Messung des Abstands zwischen einem Werkstück (2, 3) und einer Sensorelektrode (11; 13; 21; 26) treten häufig Zusammenbrüche des Sensorsignals (M) auf, und zwar infolge von Plasmabildung, Metallspritzern und dergleichen. Um auch in diesem Fall eine einwandfreie Abstandsregelung gewährleisten zu können, wird erfindungsgemäß ein späterer Sensorsignalwert ( $M_{i+1}$ ) mit einem Vergleichswert (V) verglichen, der unter Heranziehung eines früheren Sensorsignalwerts ( $M_i$ ) gebildet worden ist. Ist der spätere Sensorsignalwert ( $M_{i+1}$ ) um mehr als einen vorbestimmten Betrag (S) kleiner als der Vergleichswert (V), wird ein dem Vergleichswert (V) entsprechender Abstandswert beibehalten. Auf diese Weise läßt sich der Zusammenbruch des Sensorsignals (M) kompensieren. Ansonsten erfolgt die Ermittlung des Abstandswerts anhand des späteren Sensorsignalwerts ( $M_{i+1}$ ).



DE 42 17 292 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10. 93 308 048/80

13/50

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein kapazitives Abstandsmeßverfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Es ist bereits allgemein bekannt, den Abstand zwischen einem Werkstück und einem Bearbeitungskopf zur Bearbeitung des Werkstücks auf kapazitivem Wege zu messen, und zwar unter Verwendung einer am Bearbeitungskopf angebrachten Sensorelektrode, die ein dem Abstand entsprechendes Sensorsignal liefert, dessen Größe von der Kapazität zwischen Sensorelektrode und Werkstück abhängt.

Durch Überwachung des Sensorsignals ist es möglich, den Bearbeitungskopf relativ zum Werkstück zu positionieren, um das Werkstück in geeigneter Weise bearbeiten zu können. Die Positionierung erfolgt über eine Regeleinrichtung, die den gemessenen Abstand als Ist-Wert empfängt und die Lage der Sensorelektrode bzw. des Bearbeitungskopfs in Abhängigkeit des Vergleichs des Ist-Werts mit einem vorgegebenen Soll-Wert steuert.

Der Bearbeitungskopf kann beispielsweise eine Laserschneiddüse sein, aus der ein Laserstrahl zur Bearbeitung des Werkstücks austritt. Mit Hilfe des Laserstrahls können am Werkstück Schweißarbeiten, Schneidarbeiten, usw., durchgeführt werden.

Es hat sich allerdings gezeigt, daß bei einigen Arbeiten das Sensorsignal erheblich gestört wird, und zwar immer dann, wenn bei der Bearbeitung des Werkstücks ein Plasma zwischen Sensorelektrode und Werkstück entsteht. Ein derartiges Plasma wird insbesondere bei Schweißarbeiten, aber auch beim Schneiden einiger bestimmter Materialien, wie z. B. Aluminium, gebildet. Das Plasma führt zu einer Vergrößerung der Meßkapazität, die soweit geht, daß das Sensorsignal zusammenbricht und der Regeleinrichtung damit ein zu kleiner Abstand vorgespiegelt wird. Störungen dieser Art treten auch durch Materialspritzer auf, die beim Bearbeiten des Werkstücks in den Bereich zwischen Sensorelektrode und Werkstück gelangen können. Eine einwandfreie Auswertung des Sensorsignals zur Abstandsregelung ist dann nicht mehr möglich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzubilden, daß eine genaue Abstandsmessung und damit Abstandsregelung auch dann durchgeführt werden kann, wenn das Sensorsignal kurzzeitig zusammenbricht, was insbesondere bei Schweißarbeiten, aber auch beim Schneiden einiger Materialien geschehen kann.

Die Lösung der gestellten Aufgabe ist im kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angegeben. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

Das Verfahren nach der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß

- ein späterer Sensorsignalwert mit einem Vergleichswert verglichen wird, der unter Heranziehung eines früheren Sensorsignalwerts gebildet worden ist,
- ein dem Vergleichswert entsprechender Abstandswert für eine bestimmte Zeit wenigstens annähernd beibehalten wird, wenn der spätere Sensorsignalwert um mehr als einen vorbestimmten Betrag kleiner ist als der Vergleichswert, und
- ansonsten die Ermittlung des Abstandswerts anhand des späteren Sensorsignalwerts erfolgt.

Bricht das Sensorsignal zusammen, beispielsweise durch ein zwischen Sensorelektrode und Werkstück gebildetes Plasma oder durch Materialspritzer, die in diesen Bereich gelangen, so führt der obige Vergleich dazu, daß der spätere Sensorsignalwert, also der Wert des zusammengebrochenen Sensorsignals, um mehr als den vorbestimmten Betrag kleiner ist als der Vergleichswert, so daß zur Abstandsmessung weiterhin der frühere Sensorsignalwert herangezogen wird, der vor dem Zusammenbruch des Sensorsignals erhalten worden war. Es kann auch ein geringfügig kleinerer herangezogen werden, z. B. ein um die Schwelle kleinerer Sensorsignalwert. Mit anderen Worten wird der vor dem Zusammenbruch des Sensorsignals vorhandene Sensorsignalwert oder ein geringfügig kleinerer so lange aufrechterhalten, bis die den Zusammenbruch des Sensorsignals hervorgerufene Störung wieder vorüber ist. Die Dauer derartiger Störungen kann in einem Probebetrieb zuvor ermittelt werden, so daß sich die Zeiten, über die der frühere Sensorsignalwert aufrechterhalten bleiben soll, in Übereinstimmung damit vorgeben lassen.

Nach einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird das Sensorsignal zur Bildung der Sensorsignalwerte in periodischen Zeiträumen abgetastet, wobei die Länge der Zeiträume in Übereinstimmung mit dem zeitlichen Auftreten der Störungen gewählt ist. Führt der obige Vergleich dazu, daß der Sensorsignalwert in einem späteren Zeitraum (also der spätere Sensorsignalwert) um mehr als einen vorbestimmten Betrag kleiner ist als der Vergleichswert, so wird für diesen späteren Zeitraum ein Sensorsignalwert herangezogen, der bereits in einem früheren Zeitraum abgetastet worden ist (früherer Sensorsignalwert). Ist dagegen der abgetastete spätere Sensorsignalwert nicht um mehr als den vorbestimmten Betrag kleiner als der Vergleichswert oder größer als der Vergleichswert, so gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder kann schon der jetzt abgetastete Vergleichswert für den noch laufenden Zeitraum bis zu dessen Ende verwendet werden, oder erst für den nachfolgenden Zeitraum. Im zuletzt genannten Fall bleibt dann für den noch laufenden Zeitraum bis zu dessen Ende der Abtastwert des vorhergehenden Zeitraums aufrechterhalten.

Vorzugsweise wird als Sensorsignalwert der Maximalwert im jeweiligen periodischen Zeitraum herangezogen. Dieser Maximalwert entspricht am ehesten dem Abstand zwischen Sensorelektrode und Werkstück und läßt sich darüber hinaus in einfacher Weise erfassen bzw. Abtasten.

Zur Bildung des Vergleichswerts können z. B. aufeinanderfolgende Sensorsignalwerte gemittelt werden. Hierdurch wird eine gewisse Filterwirkung erzielt. Es ist aber auch möglich, als Vergleichswert direkt den jeweils früheren abgetasteten Sensorsignalwert heranzuziehen.

Bleibt der abgetastete Sensorsignalwert in aufeinanderfolgenden Zeiträumen jeweils um mehr als den vorbestimmten Betrag kleiner als der Vergleichswert, so wird für sämtliche dieser Abtastzeiträume derjenige zuletzt abgetastete Sensorsignalwert verwendet, für den diese Bedingung nicht gegolten hat. Es kann durchaus der Fall auftreten, daß sich Störungen der eingangs beschriebenen Art über zwei, drei oder mehr Abtastzeiträume hinziehen. In diesem Fall werden gar keine oder nur sehr kleine Signalspitzen in den jeweiligen Abtastzeiträumen erhalten. Nach der Erfindung wird aber auch für eine derartige Situation Vorsorge getroffen,

um auch jetzt Abstandswerte für die Abstandsregelung zur Verfügung stellen zu können.

Allerdings ist es möglich, daß sich während dieser Abtastzeiträume das Sensorsignal tatsächlich verkleinert hat, so daß eine Art Kompromiß aufgefunden werden muß, und zwar hinsichtlich der Entscheidung, ob eine Störung oder eine tatsächliche Verkleinerung des Abstands aufgetreten ist.

Für diesen Zweck wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, für aufeinanderfolgende der mehreren Abtastzeiträume, für die ein zuvor abgetasteter Sensorsignalwert bzw. ermittelter Abstandswert beizubehalten ist, den genannten vorbestimmten Betrag schrittweise zu vergrößern, und zwar von Abtastzeitraum zu Abtastzeitraum. Hierdurch läßt sich der wirkliche Abstand zwischen Sensorelektrode und Werkstück, falls er sich tatsächlich verkleinert haben sollte, sehr schnell wieder erfassen.

Selbstverständlich kann das gesamte Sensorsignal einer Tiefpaßfilterung unterzogen werden, um die Regelung richtung stabiler betreiben zu können.

Wie bereits erwähnt, wirkt sich insbesondere die Bildung eines Plasmas auf die Erzeugung eines genauen Sensorsignals nachteilig aus. Wichtig bei der Erfindung ist es daher, daß zwischen der Sensorelektrode und dem Werkstück verlaufende elektrische Feldlinien durch das insbesondere beim Schweißen entstehende Plasma unbeeinflusst bleiben, so daß es darauf ankommt, diese elektrischen Feldlinien und das Plasma voneinander zu trennen. Dies kann in räumlicher oder in zeitlicher Hinsicht geschehen. Die räumliche Trennung darf allerdings nur soweit gehen, daß man noch von einer Abstandsmessung im Bearbeitungsbereich sprechen kann. Bei der zeitlichen Trennung muß darauf geachtet werden, daß die Abstandsmessung nur dann erfolgt wenn der Laser nicht aktiv ist.

Nach einer sehr vorteilhaften weiteren Ausgestaltung wird daher erfindungsgemäß das Sensorsignal so erzeugt daß zwischen der Sensorelektrode und dem Werkstück verlaufende elektrische Feldlinien unmittelbar seitlich an einem Werkstück-Bearbeitungsbereich vorbeigeführt werden. In diesem Fall können z. B. Schweißvorgang und Abstandsmessung simultan durchgeführt werden.

Soweit die zeitliche Trennung von Plasma und elektrischen Feldlinien betroffen ist, kann während einer Abstandsmessung z. B. ein zur Bearbeitung verwendeter Laserstrahl ausgeblendet werden, z. B. periodisch, wobei während der Ausblendphasen, in denen kein Plasma erzeugt wird, die Abstandsmessung erfolgt. In diesem Fall läßt sich die Abstandsmessung dann direkt im Werkstück-Bearbeitungsbereich vornehmen.

Die zur Abstandsmessung zwischen der Sensorelektrode und dem Werkstück verlaufenden Feldlinien werden erfindungsgemäß entweder haubenartig über das Plasma hinweggeleitet, können das Plasma aber auch zylinderwandartig umgreifen, je nach Elektrodenkonfiguration. Mit anderen Worten wird das Sensorsignal durch elektrische Feldlinien erzeugt die haubenartig relativ zum Werkstück-Bearbeitungsbereich verlaufen, oder durch elektrische Feldlinien, die hohlzylinderartig relativ zum Werkstück-Bearbeitungsbereich stehen. Zu diesem Zweck kann beispielsweise eine ringförmig ausgebildete Sensorelektrode verwendet werden, durch die der Bearbeitungslaserstrahl hindurchläuft. Nach einer sehr vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann beim Detektieren des Sensorsignals ein oberhalb des Werkstück-Bearbeitungsbereichs liegender Bereich des

Bearbeitungskopfs auch durch ein Schirmpotential abgeschirmt sein, um für eine noch bessere Ausblendung von Störungen bzw. des Plasmas bei der kapazitiven Abstandsmessung zu sorgen. Das Schirmpotential kann beispielsweise aktives Schirmpotential sein, das dadurch erhalten wird, daß das Meßpotential, das der Sensorelektrode zugeführt wird, über einen Verstärker mit einem gewünschten Verstärkungsgrad geleitet wird.

Nach einer anderen vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird das elektrische Feld zur kapazitiven Abstandsmessung an einer Stelle erzeugt, die in Bewegungsrichtung des Bearbeitungskopfs gesehen vor dem Werkstück-Bearbeitungsbereich bzw. vor demjenigen Bereich, in dem sich ein Plasma bilden kann, liegt. Eine infolge der Bewegung des Bearbeitungskopfs erzeugte Luftströmung sorgt dann dafür, daß das beim Bearbeiten (Schweißen bzw. Schneiden) entstehende Plasma nicht in den Bereich zwischen Sensorelektrode und Werkstück gelangen kann, also der Abstandsmeßbereich von Plasma oder gegebenenfalls Metallspritzern unbeeinflusst bleibt. Zur Verbesserung dieser Maßnahme kann sich im Bereich dieser Sensorelektrode auch die Öffnung eines Rohrs befinden, durch das hindurch ein Schutzgas zum Bearbeitungsbereich geleitet wird. Das aus dem Rohr ausströmende Schutzgas treibt somit das beim Bearbeiten entstehende Plasma von der Sensorelektrode weg.

Die Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnung näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine Laserbearbeitungsdüse mit einer kappenförmigen Sensorelektrode.

Fig. 2 eine weitere Laserbearbeitungsdüse mit einer ringförmigen Sensorelektrode.

Fig. 3 einen Laserbearbeitungskopf mit einem Schutzgasrohr, an welchem eine Sensorelektrode zur Abstandsmessung befestigt ist.

Fig. 4 ein Signaldiagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Fig. 5 eine Schaltungsanordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Fig. 6 eine Störungsdetektorschaltung für die Schaltungsanordnung nach Fig. 5, und

Fig. 7 eine weitere Schaltungsanordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit der in Fig. 6 gezeigten Störungsdetektorschaltung.

Die Fig. 1 zeigt eine als Bearbeitungskopf dienende Laserbearbeitungsdüse 1 zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, mit deren Hilfe zwei Werkstückteile 2 und 3 miteinander verschweißt werden. Eine Schweißnaht trägt das Bezugszeichen 4 und erstreckt sich in Fig. 1 senkrecht zur Zeichenebene. Die Werkstückteile 2 und 3 sind über einen Anschluß 5 geerdet.

Die Laserbearbeitungsdüse 1 besteht aus einem konisch verlaufenden Düsenkörper 6, der aus elektrisch leitendem Material besteht, z. B. aus Aluminium oder Stahl. Der Düsenkörper 6 weist in seinem Innern einen Hohlkanal 7 auf, der sich entlang der Zentralachse 8 des Düsenkörpers 6 erstreckt. Durch den Hohlkanal 7 wird ein Laserstrahl 9 hindurchgeführt, dessen Fokus im Bereich der Schweißnaht 4 zu liegen kommt. Der Laserstrahl 9 wird mit Hilfe einer nicht dargestellten Optik fokussiert und läßt sich z. B. mit einem CO<sub>2</sub>-Laser oder mit einem YAG-Laser erzeugen.

An der Spitze des Düsenkörpers 6 befindet sich eine Düsenelektrode 10, die gegenüber dem Düsenkörper 6 elektrisch isoliert ist. Beispielsweise kann die Düsenelektrode 10 in einem nicht dargestellten Keramikkörper ruhen, der seinerseits von der Spitze des Düsenkör-

pers 6 aufgenommen wird. Ein Überwurfelement 11, beispielsweise eine Überwurfmutter, hält die Düsen-  
elektrode 10 an der Spitze des Düsenkörpers 6. Hierzu  
greift das Überwurfelement 11 über einen äußeren  
Flansch der Düsenelektrode 10 und zieht diese gegen  
die Spitze des Düsenkörpers 6, wenn es mit dem Düsen-  
körper 6 verbunden, z. B. verschraubt wird. Die Düsen-  
elektrode 10 und der nicht dargestellte Keramikkörper  
weisen ebenfalls zentrale Durchgangsöffnungen für den  
Durchtritt des Laserstrahls 9 auf.

Das Überwurfelement 11 ist sowohl gegenüber dem  
Düsenkörper 6 als auch gegenüber der Düsenelektrode  
10 elektrisch isoliert. Hierzu kann das Überwurfelement  
11 wenigstens im Verbindungsbereich mit dem Düsen-  
körper 6 und der Düsenelektrode 10 eine elektrisch iso-  
lierende Oberflächenbeschichtung tragen, beispielswei-  
se eine Eloxalschicht, wenn es aus Aluminium besteht.  
Die elektrisch isolierende Oberflächenbeschichtung  
kann sich aber auch auf der gesamten Oberfläche des  
Überwurfelements befinden, also sowohl innen als auch  
außen. Sie läßt sich auch aus Teflon oder einem anderen  
geeigneten Material herstellen, beispielsweise aus einer  
Keramik.

Mit Hilfe einer nicht dargestellten Schalteinrichtung  
außerhalb der Laserbearbeitungsdüse 1 lassen sich an  
die Düsenelektrode 10 und an das Überwurfelement 11  
verschiedene Potentiale anlegen. Hierzu sind die Düsen-  
elektrode 10 und das Überwurfelement 11 über separa-  
te Leitungen mit der Schalteinrichtung verbunden. Der  
Düsenkörper 6 liegt im allgemeinen auf Erdpotential.

Soll die Laserbearbeitungsdüse 1 zum Verschweißen  
der Werkstückteile 2 und 3 benutzt werden, so wird zu  
diesem Zweck ein Laserstrahl 9 mit entsprechender Lei-  
stung erzeugt. Dieser Laserstrahl 9 wird durch eine ge-  
eignete Bewegung des Düsenkörpers 6 entlang der  
Schweißnaht 4 (Werkstück-Bearbeitungsbereich) ge-  
führt, wobei zwischen der Schweißnaht 4 und der Dü-  
senelektrode 10 ein Plasma P entsteht. Um den Einfluß  
dieses Plasmas P bei der kapazitiven Abstandsmessung  
zwischen der Spitze des Düsenkörpers 6 und dem  
Werkstück zu beseitigen bzw. auf ein Minimum zu redu-  
zieren, wird ein für die Abstandsmessung benötigtes  
Sensorpotential an das Überwurfelement 11 angelegt.  
Dagegen wird der Düsenelektrode 10 ein aktives  
Schirmpotential zugeführt, das dadurch erhalten wird,  
daß das Sensorpotential über einen Verstärker mit ei-  
nem gewünschten Verstärkungsgrad geleitet wird. Der  
Verstärkungsgrad dieses Verstärkers kann z. B. 1 oder  
größer bzw. kleiner sein, um auf diese Weise Einfluß auf  
den Verlauf von Feldlinien 12 zwischen Überwurfele-  
ment 11 und Werkstück nehmen zu können.

Durch das aktive Schirmpotential an der Düsen-  
elektrode 10 wird mit anderen Worten der Bereich oberhalb  
des Plasmas P zur Abstandsmessung ausgeblendet, so  
daß die Meßkapazität nur zwischen Überwurfelement  
11 und Werkstück vorhanden ist. Die elektrischen Feld-  
linien 12 zwischen Überwurfelement 11 und Werkstück  
umgeben somit das Plasma P haubenartig, ohne daß  
dieses noch einen störenden Einfluß auf die Meßkapa-  
zität ausüben könnte. Der haubenartige Verlauf der elek-  
trischen Feldlinien 12 kommt im wesentlichen dadurch  
zustande, daß diese seitlich aus dem Überwurfelement  
11 heraustreten, das kappenartig ausgebildet ist.

Soll die in Fig. 1 gezeigte Laserbearbeitungsdüse  
nicht zum Laserschweißen verwendet werden, so lassen  
sich die Potentiale an der Düsenelektrode und am Über-  
wurfelement durch geeignete Ansteuerung der Schalt-  
einrichtung auch vertauschen, um jetzt z. B. eine Ab-

standsmessung direkt zwischen Düsenelektrode 10 und  
Werkstück durchführen zu können.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß die Düsen-  
elektrode 10 vorzugsweise aus Kupfer besteht, während das  
Überwurfelement 11 z. B. aus Aluminium hergestellt ist.

Die Fig. 2 zeigt eine weitere Laserbearbeitungsdüse  
zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.  
Gleiche Elemente wie in Fig. 1 sind mit den gleichen  
Bezugszeichen versehen und werden nicht nochmals be-  
schrieben.

Die Laserbearbeitungsdüse 1 nach Fig. 2 weist einen  
Düsenkörper 6 mit Hohlkanal 7 auf, durch den entlang  
der Zentralachse 8 ein Laserstrahl 9 hindurchläuft. Der  
Düsenkörper 6 besteht aus elektrisch leitendem Materi-  
al, beispielsweise aus Stahl oder Aluminium. Er kann  
aber auch aus Kupfer hergestellt sein.

An seiner dem Werkstück zu gewandten Seite ist der  
Düsenkörper 6 flächenhaft ausgebildet. Erweist dort ei-  
ne ringförmige Ausnehmung zur Aufnahme einer Ring-  
elektrode 13 auf. Die Ringelektrode 13 kann ebenfalls  
aus Kupfer bestehen und ist gegenüber dem Düsenkör-  
per 6 elektrisch isoliert, beispielsweise durch eine geeig-  
nete Oberflächenbeschichtung aus elektrisch isolieren-  
dem Material, wie etwa Teflon, Keramikmaterial, und  
dergleichen. Diese Ringelektrode 13 ist fest in die Stirn-  
seite des Düsenkörpers 6 eingesetzt und dient zur Mes-  
sung des Abstands zwischen der Spitze des Düsenkör-  
pers 6 und dem Werkstück auf kapazitivem Wege. Hier-  
zu wird an die Ringelektrode 13 ein Sensorpotential  
angelegt, und zwar über eine elektrische Leitung 14, die  
mit der Ringelektrode 13 verbunden ist und durch einen  
Kanal 15 im Düsenkörper 6 hindurchläuft. An den Dü-  
senkörper 6 wird aktives Schirmpotential angelegt, das  
dadurch erhalten wird, daß das Sensorpotential über  
einen Verstärker mit geeignetem Verstärkungsgrad ge-  
führt wird, wobei dieser Verstärkungsgrad z. B. 1 sein  
kann.

Beim Laserschweißen mit Hilfe der Laserbearbei-  
tungsdüse 1 nach Fig. 2 entsteht zwischen der Stirnflä-  
che des Düsenkörpers 6 und der Schweißnaht 4 ein  
Plasma P, das eine unmittelbare Messung des Abstands  
auf kapazitivem Wege im Schweißbereich nicht zuläßt.  
Ein derartiges Plasma kann ggf. auch beim Laserschnei-  
den entstehen. Infolge der Ringelektrode 13 wird die  
Meßkapazität jedoch um das Plasma P bzw. den  
Schweiß- oder Schneidbereich herumgelegt, so daß  
elektrische Feldlinien 16 zwischen der Ringelektrode 13  
und dem Werkstück bzw. den Werkstückteilen 2 und 3  
das Plasma P zylinderwandartig umgeben. Die elektri-  
schen Feldlinien 16 verlaufen hier praktisch zwischen  
zwei parallel zueinander liegenden Flächen, im Gegen-  
satz zur Anordnung nach Fig. 1, wo die Seitenwand des  
Überwurfelements 11 relativ stark zur Werkstückober-  
fläche geneigt ist.

Auch beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 befindet  
sich der unmittelbar oberhalb des Plasmas P liegende  
Bereich des Düsenkörpers 6 auf aktivem Schirmpotenti-  
al, so daß auf diese Weise der Bereich des Plasmas P bei  
der Abstandsmessung ausgeblendet bzw. ausgespart  
wird. Da außerdem noch ein aktiver Schirmbereich 6a  
die Ringelektrode 13 außen umgibt, kann die kapazitiv-  
e Abstandsmessung auch relativ unbeeinflusst von Halte-  
elementen 17 durchgeführt werden, die zum Fixieren  
der Werkstückteile 2 und 3 dienen und z. B. ebenfalls aus  
elektrisch leitendem Material bestehen können. Bei  
Draufsicht auf die Stirnseite des Düsenkörpers 6 liegt  
also zentrisch der Kanal 7 für den Laserstrahl 9, wobei  
der Kanal 7 von innen nach außen von einer Schirm-

elektrode, der Ringelektrode 13 und der weiteren Schirmelektrode 6a umgeben ist. Die zuerst genannte Schirmelektrode und die Schirmelektrode 6a werden durch den Düsenkörper 6 gebildet und liegen auf aktivem Schirmpotential.

In Abwandlung der Einrichtung nach Fig. 2 ist es auch möglich, die Ringelektrode 13 im Abstand unterhalb des Düsenkörpers 6 anzuordnen, und zwar über eine geeignete Halteeinrichtung. Die Ringelektrode kann dann z. B. aus einem kreisförmig gebogenen Draht bestehen, der über einen stabilen Stab relativ zum Düsenkörper 6 positioniert wird.

Ein drittes Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigt die Fig. 3. Hier handelt es sich um ein sogenanntes offenes System, bei dem kein Düsenkonus vorhanden ist. Mit Hilfe einer Abbildungseinrichtung 18 wird ein fokussierter Laserstrahl 9 erzeugt, der zur Durchführung eines Schweiß- oder Schneidvorgangs auf ein Werkstück 2 fokussiert wird. Die Bewegungsrichtung der Abbildungseinrichtung 18 ist in Fig. 3 mit dem Bezugszeichen B gekennzeichnet. Das Werkstück 2 liegt über einen Anschluß 5 auf Erdpotential.

An der Abbildungseinrichtung 18 ist über eine Halteeinrichtung 19 ein Rohr 20 befestigt, das bis herunter zum Schweiß- oder Schneidbereich (Werkstück-Bearbeitungsbereich) geführt und dort so abgelenkt ist, daß seine Neigung relativ zum Werkstück 2 nicht mehr so groß ist. Die untere Rohröffnung weist dabei zum Schweiß- oder Schneidbereich hin, so daß dem Schweiß- oder Schneidbereich über das Rohr 20 ein Schutzgas zugeführt werden kann. Das Schutzgas strömt in Richtung des Pfeils C aus dem unteren Ende des Rohrs 20 heraus, also in einer Richtung, die entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung B liegt. Hierdurch läßt sich verhindern, daß ein beim Schweißen oder Schneiden entstehendes Plasma P in den Bereich des abgelenkten unteren Rohrendes gelangt. Die eigentliche Funktion des Schutzgases ist, zu verhindern, daß Sauerstoff an die Bearbeitungsstelle kommt.

Am unteren und abgelenkten Ende des Rohrs 20 befindet sich eine Sensorelektrode 21, die beispielsweise aus Kupfer besteht. Die Sensorelektrode 21 weist zum Werkstück 2 hin und ist über eine Halteeinrichtung 22 am Rohr 20 befestigt. Die Halteeinrichtung 22 kann beispielsweise ein hitzebeständiger Kleber sein. Mit der Sensorelektrode 21 ist ein abgeschirmtes Kabel 23 verbunden, beispielsweise ein Koaxialkabel, dessen anderes Ende mit einer Steckerbuchse 24 verbunden ist, die am oberen Ende des Rohrs 20 befestigt ist. Über diese Steckerbuchse 24 (Koaxialsteckerbuchse) läßt sich einerseits über das Kabel 23 Sensorpotential zur Sensorelektrode 21 übertragen, während aktives Schirmpotential an den Schirmleiter des Kabels 23 angelegt wird.

Durch die genannte Anordnung der Sensorelektrode 21 kann insbesondere auch beim Laserschweißen der Abstand zwischen der Sensorelektrode 21 und dem Werkstück 2 auf kapazitivem Wege gemessen werden, ohne daß diese Messung durch das beim Schweißen entstehende Plasma P nachteilig beeinflusst wird.

Vorteilhaft bei der genannten Ausbildung ist weiterhin, daß sich die Sensorelektrode 21 durch das durch das Rohr 20 hindurchgeführte Schutzgas gleichzeitig kühlen läßt. Hierdurch verlängert sich ihre Lebensdauer. Das Kabel 23 kann darüber hinaus im Innern des Rohrs 20 verlegt werden, wobei das Rohr 20 dann die Abschirmfunktion übernehmen kann. In diesem Fall wird das Rohr 20 mit aktivem Schirmpotential beaufschlagt,

während das im Rohr 20 verlegte Kabel keinen weiteren Schirmleiter mehr benötigt. Die Sensorelektrode 21, die z. B. kreisplattenförmig ausgebildet sein kann, könnte auch von einer weiteren und in der Sensorelektrodenebene liegenden Schirmelektrode umgeben sein, die in elektrisch leitendem Kontakt mit dem Rohr 20 steht und damit auf Schirmpotential zu liegen kommt. Auf diese Weise ließe sich der Einfluß des Plasmas P bei der kapazitiven Abstandsmessung zwischen der Sensorelektrode 21 und dem Werkstück noch weiter zurückdrängen.

Natürlich ist es möglich, bei allen gezeigten Ausführungsbeispielen den Laserstrahl 9 auch periodisch ein- und auszuschalten, um während der Ausschaltphasen des Laserstrahls die Abstandsmessung auf kapazitivem Wege durchzuführen.

Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren im einzelnen beschrieben, und zwar zunächst unter Bezugnahme auf die Fig. 4. Die Fig. 5 und 6 zeigen Vorrichtungen zur Durchführung des Verfahrens, wobei zur Lieferung des Sensorsignals M Bearbeitungsköpfe gemäß den Fig. 1 bis 3 verwendet werden können. Die Fig. 4 zeigt in vergrößerter Darstellung ein von einer Sensorelektrode bzw. Düsenelektrode abgenommenes Sensorsignal M, das z. B. bei einem Schweißvorgang erhalten wird. Die Zeitachse ist in Fig. 4 gestreckt, um das Sensorsignal M besser erkennen zu können. Infolge des beim Schweißvorgang entstehenden Plasmas zwischen Sensorelektrode und Werkstück bricht das Sensorsignal M in unregelmäßigen Zeitabständen zusammen, so daß als Sensorsignal M lediglich eine Folge von Signalspitzen  $S_p$  erhalten wird. Das Sensorsignal M läßt sich digitalisieren, um durch Software-Maßnahmen weiterverarbeitet werden zu können, wie nachfolgend zuerst beschrieben wird. Es kann aber auch als Analogsignal weiterverarbeitet werden, was unter Bezugnahme auf die Fig. 5 und 6 ausgeführt wird.

Zur Digitalisierung wird ein Zeitraaster über das Sensorsignal M gelegt. Mit anderen Worten wird das Sensorsignal M in periodischen Zeiträumen  $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots$  abgetastet, um jeweils den maximalen Signalwert für den jeweiligen Zeitraum  $\Delta t$  zu erfassen. Der maximale Signalwert wird nachfolgend als Sensorsignalwert bezeichnet, so daß für den Zeitraum  $\Delta t_1$  ein Sensorsignalwert  $M_1$ , für den Zeitraum  $\Delta t_2$  ein Sensorsignalwert  $M_2$ , und dergleichen, erhalten werden. Die Länge der jeweiligen Zeiträume  $\Delta t_i$  wird in Übereinstimmung mit den zu erwartenden Störungen im Sensorsignal M festgelegt, im vorliegenden Fall beispielsweise auf 50 Millisekunden. Die geeignetste Zeiträumlänge sollte zuvor für einen bestimmten Bearbeitungsvorgang während eines Probebetriebs ermittelt werden.

Nach Abtastung der Sensorsignalwerte  $M_1, M_2, \dots$  werden diese zwischengespeichert, um anschließend weiterverarbeitet zu werden. Diese Zwischenspeicherung kann nur eine Teilmenge der Sensorsignalwerte betreffen, um einen Online-Betrieb durchführen zu können.

Im folgenden sei angenommen, daß im Zeitraum  $\Delta t_2$  als Maximalwert der Sensorsignalwert  $M_2$  abgetastet wird, anhand dessen sich der Abstand zwischen Sensorelektrode und Werkstück ermitteln läßt. Dieser Sensorsignalwert  $M_2$  bleibt während des nächsten Zeitraums  $\Delta t_3$  aufrechterhalten, und zwar bis zum Ende dieses Zeitraums  $\Delta t_3$ . Innerhalb des Zeitraums  $\Delta t_3$  wird dann der Sensorsignalwert  $M_3$  abgetastet, wobei dieser Sensorsignalwert  $M_3$  mit einem Vergleichswert  $V$  verglichen wird, der z. B. der Sensorsignalwert  $M_2$  oder der über den Zeitraum  $\Delta t_2$  aufrechterhaltene Sensorsignal-

wert  $M_1$  sein kann. Der Vergleichswert kann aber auch durch Mittelwertbildung vorangegangener Sensorsignalwerte erhalten worden sein, beispielsweise durch Mittelwertbildung der Signalwerte  $M_1$  und  $M_2$ . Wird am Ende des Zeitraums  $\Delta t_3$  festgestellt, daß der Sensorsignalwert  $M_3$  nicht um mehr als einen vorbestimmten Betrag  $S$  kleiner ist als der Vergleichswert  $V$ , so wird für den nachfolgenden Zeitraum  $\Delta t_4$  dieser Sensorsignalwert  $M_3$  aufrechterhalten, usw.

Im Zeitraum  $\Delta t_8$  gilt zunächst der vorher ermittelte Sensorsignalwert  $M_7$ , wobei im Zeitraum  $t_8$  der Sensorsignalwert  $M_8$  detektiert wird. Er ist größer als der Sensorsignalwert  $M_7$ , so daß für den nächsten Zeitraum  $\Delta t_9$  dieser Sensorsignalwert  $M_8$  gilt. Mit anderen Worten hat sich vom Zeitraum  $\Delta t_8$  zum Zeitraum  $\Delta t_9$  der Abstand zwischen Sensorelektrode und Werkstück vergrößert. Es wird also im Zeitraum  $\Delta t_9$  der neue Wert  $M_8$  übernommen, da auch dieser nicht um mehr als den vorbestimmten Betrag  $S$  kleiner gegenüber dem Vergleichswert  $V$  (z. B. dem Sensorsignalwert  $M_7$ ) war.

Eine weitere Situation soll anhand der Zeiträume  $\Delta t_4$ ,  $\Delta t_{15}$  und  $\Delta t_{16}$  beschrieben werden. Im Zeitraum  $\Delta t_{15}$  wird nur ein relativ kleiner Sensorsignalwert  $M_{15}$  erhalten, beispielsweise infolge einer Plasmaerscheinung. Dieser Sensorsignalwert  $M_{15}$  (späterer Sensorsignalwert) wird mit dem Sensorsignalwert  $M_{14}$  (früherer Sensorsignalwert) verglichen, wobei festgestellt wird daß der Sensorsignalwert  $M_{15}$  um mehr als den vorbestimmten Betrag  $S$  kleiner ist als der Sensorsignalwert  $M_{14}$ , der hier den Vergleichswert  $V$  bildet. Das hat zur Folge, daß der Sensorsignalwert  $M_{14}$ , der während des Zeitraums  $\Delta t_{15}$  sowieso schon galt, auch während des Zeitraums  $\Delta t_{16}$  aufrechterhalten bleibt, wie die Fig. 4 erkennen läßt. Für den Zeitraum  $\Delta t_{16}$  kann jetzt aber der vorbestimmte Betrag auf den Wert  $2S$  erhöht werden, um die Regeleinrichtung möglichst schnell auf einen tatsächlich kleiner gewordenen Abstand zwischen Sensorelektrode und Werkstück fahren zu können. So wird beispielsweise im Zeitraum  $\Delta t_{16}$  der Sensorsignalwert  $M_{16}$  erhalten, der in den dort eingezeichneten Bereich  $2S$  fällt. Dieser Sensorsignalwert  $M_{16}$  ist also nicht um mehr als den vorbestimmten Betrag  $2S$  kleiner als der Vergleichswert  $M_{14}$  so daß er jetzt für den nächsten Zeitraum  $\Delta t_{17}$  gilt. Die Vergrößerung des vorbestimmten Betrags  $S$  kann in linearer Beziehung zur Anzahl derjenigen Zeiträume  $\Delta t_i$  stehen, über die das Sensorsignal aufrechterhalten bleibt. Würde z. B. der Sensorsignalwert  $M_{16}$  nicht bis in den Bereich  $2S$  hineinreichen, so würde auch im Zeitraum  $\Delta t_{17}$  der Sensorsignalwert  $M_{14}$  gelten. Dabei würde allerdings der vorbestimmte Betrag für den Zeitraum  $\Delta t_{17}$  auf  $3S$  erhöht werden.

Selbstverständlich kann auch eine andere Beziehung zwischen dem vorbestimmten Betrag  $S$  und der Anzahl der Zeiträume herangezogen werden, über die das Sensorsignal konstant gehalten wird. Wichtig ist jedoch, daß die vorbestimmte Betrag  $S$  für aufeinanderfolgende der mehreren Abtastzeiträume schrittweise vergrößert, um möglichst schnell tatsächlich kleinere Abstandswerte erfassen zu können.

Wird für eine vorgegebene Anzahl von Zeiträumen, beispielsweise für sechs aufeinanderfolgende Zeiträume, keine Änderung des Sensorsignalwerts erhalten, nachdem entschieden worden ist, den Sensorsignalwert aufrecht zu erhalten, so wird angenommen, daß eine Kollision zwischen Sensorelektrode und Werkstück vorliegt, was zur Stillsetzung der Regeleinrichtung führt.

Wird bei der Signalabtastung während des Zeitraums

$\Delta t_i$  ein größerer Sensorsignalwert  $M_i$  ermittelt als während des Zeitraums  $\Delta t_i$ , so kann dieser größere Sensorsignalwert  $M_i$  auch sofort übernommen und  $\Delta t_{i+1}$  sofort gestartet werden. Während des Zeitraums  $\Delta t_{i+1}$  gilt dann dieser größere Sensorsignalwert  $M_i$ . Das Zeitraaster zur Abtastung des Sensorsignals  $M$  ist hier also nicht konstant, vielmehr werden hier die einzelnen Zeitperioden von z. B. 50 Millisekunden immer dann erneut gestartet, wenn der genannte höhere Abtastwert erhalten worden ist. Dadurch kann die Abstandsregelung schneller durchgeführt werden.

Die Fig. 5 zeigt eine Abstandsmeß- und regeleinrichtung zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung.

Entsprechend der Fig. 5 enthält die Abstandsmeß- und regeleinrichtung eine Sensoreinheit 25, die einseitig mit einer Sensorelektrode 26 (Düsenelektrode) über ein Koaxialkabel 25a verbunden ist. Die Sensoreinheit 25 gibt an ihrem Ausgang das Sensorsignal  $M$  aus, also eine Meßspannung, deren Größe vom Abstand (bzw. von der Kapazität) zwischen Sensorelektrode 26 und Werkstück abhängt. Dieses Sensorsignal  $M$  wird dem Eingang einer Abstandsregelschaltung 27 zugeführt, die das Sensorsignal  $M$ , das als Ist-Wertsignal dient, mit einem Soll-Wertsignal vergleicht. Ein vergleichsabhängiges Stellsignal wird vom Ausgang der Abstandsregelschaltung 27 über einen Schalter 28 und einen Servoverstärker 29 einem Motor 30 zugeführt, der seinerseits die Position eines nicht dargestellten Bearbeitungskopfs, an dem die Sensorelektrode 26 befestigt ist, in Abhängigkeit des Stellsignals verändert. Auf diese Weise läßt sich z. B. der Abstand der Sensorelektrode 26 vom Werkstück konstant halten.

Der Schalter 28 weist drei Schaltkontakte 28a, 28b und 28c auf. Ein bewegbares Schaltglied 28b ist ständig mit dem Schaltkontakt 28a verbunden, der seinerseits mit dem Eingang des Servoverstärkers 29 verbunden ist. Der Schaltkontakt 28b ist mit dem Ausgang der Abstandsregelschaltung 27 verbunden, während der Schaltkontakt 28c auf Masse liegt. Mit anderen Worten ist das Schaltglied 28d zwischen den Schaltkontakten 28b und 28c hin und her bewegbar.

Die Verschiebung des Schaltglieds 28d erfolgt über eine Stalleinrichtung 31, die von einem Störungsdetektor 32 angesteuert wird, der seinerseits am Eingang das Sensorsignal  $M$  empfängt.

Der Störungsdetektor 32 überwacht das von der Sensoreinheit 25 ausgegebene Sensorsignal  $M$ . Nach Erkennen einer Störung wird der Eingang des Servoverstärkers 29 gegen Masse geschaltet, wozu der Störungsdetektor 32 die Stalleinrichtung 31 so ansteuert, daß durch sie das Schaltglied 28d mit dem Schaltkontakt 28c verbunden wird. Der Motor bzw. der durch ihn angesteuerte Antrieb für den Bearbeitungskopf behält dann seine aktuelle Position so lange bei, bis eine erneute Umschaltung des Schalters 28 erfolgt. Liegt keine Störung vor, so ist das Schaltglied 28d mit dem Schaltkontakt 28b verbunden. In diesem Fall wird die Abstandsregelung durchgeführt.

Die Fig. 6 zeigt den genaueren Aufbau des Störungsdetektors 32. Er enthält eine Verzögerungsleitung 33, die an ihrem Eingang das Sensorsignal  $M$  empfängt, das am Ausgang der Sensoreinheit 25 erscheint. Der Ausgang der Verzögerungsleitung 33 ist mit dem Eingang einer Subtrahierstufe 34 verbunden, deren zweiter Eingang (Subtraktionseingang) ebenfalls das Sensorsignal  $M$  empfängt, jedoch unverzögert. Der Ausgang der Subtrahierstufe 34 ist mit dem positiven Eingang eines



Komparators 35 (Differenzverstärker) verbunden, dessen negativer Eingang eine Referenzspannung empfängt. Über den Ausgang des Komparators 35 wird ein Monoflop 36 angesteuert, dessen Ausgangssignal zur Umschaltung des Schalters 28 herangezogen wird.

Mit Hilfe des in Fig. 6 gezeigten Störungsdetektors wird das von der Sensoreinheit 25 gelieferte Sensorsignal M von einem zeitlich verzögerten Sensorsignal M' subtrahiert. Bei Signaleinbrüchen entstehen am Ausgang der Subtrahierstufe 34 positive Signale. Wenn diese Signale einen bestimmten Wert überschreiten, wird der Monoflop 36 getriggert. Der Ausgang des Monoflops 36 erzeugt ein "Einfriersignal", durch welches der Schalter 28 so umgeschaltet wird, daß das Schaltglied 28d mit dem Schaltkontakt 28c in Kontakt kommt, um den Eingang des Servoverstärkers 29 auf Masse zu legen. Mit anderen Worten wird dadurch der Eingang der Motorendstufe für eine einstellbare Zeit gegen Masse geschaltet. Diese einstellbare Zeit hängt von der Dauer der typischerweise auftretenden Störungen ab und läßt sich vorher in einem Probetrieb ermitteln. Dasselbe gilt auch für die Verzögerungszeit der Verzögerungsleitung 33.

Tritt im Sensorsignal M während der Verzögerungszeit der Verzögerungsleitung 33 kein Signalzusammenbruch auf, so entspricht das Sensorsignal M' am Ausgang der Verzögerungsleitung 33 dem Sensorsignal M an deren Eingang. Die Subtrahierstufe 34 gibt daher an ihrem Ausgang nur ein sehr kleines Signal aus, so daß auch der Ausgang des Komparators 35 unterhalb einer gewissen Schwelle bleibt, wenn sein negativer Eingang Ref z. B. auf Masse liegt. In diesem Fall wird der Monoflop 36 nicht angesteuert, so daß das Schaltglied 28d mit dem Schaltkontakt 28b verbunden bleibt.

Tritt jedoch während der Verzögerungszeit der Verzögerungsleitung 33 ein Signalzusammenbruch im Sensorsignal M auf, so ist das verzögerte Sensorsignal M' (früheres Sensorsignal) wesentlich größer als das spätere Sensorsignal M. Die Subtrahierstufe 34 liefert daher ein relativ hohes Ausgangssignal zum positiven Eingang des Komparators 35, so daß dessen Ausgangssignal die Schwelle des Monoflops 36 überschreitet und der Monoflop 36 angesteuert wird. Mit Hilfe des Ausgangssignals des Monoflops 36 wird jetzt das Schaltglied 28d des Schalters 28 mit dem Schaltkontakt 28c verbunden, um die Motorstellung bzw. Position des Bearbeitungskopfs einzufrieren. Der Monoflop 36 und damit der Schalter 28 werden nach der genannten einstellbaren Zeit automatisch zurückgeschaltet, damit die Abstandsregelung fortgesetzt werden kann.

Die Verzögerungszeit der Verzögerungsleitung 33 wird so eingestellt, daß nur schnelle Änderungen des Meßsignals durch Störungen, wie sie z. B. durch Plasma oder Spritzer erzeugt werden, zur Triggerung des Monoflops 36 führen, also zum Stillstand des Motors 30. Bei Schweißvorgängen beträgt die Verzögerungszeit z. B. 10 ms.

Durch Änderung der Referenzspannung des Komparators 35 läßt sich die Schwelle des Komparators 35 so einstellen, daß die Differenz des aktuellen und des verzögerten Meßsignals bei Störungen zur Triggerung des Monoflops 36 führe (Höhe bzw. Stärke der Störungen). Hierdurch ist eine Abgleich auf spezielle Störungen des Meßsignals möglich.

Eine weitere Schaltungsanordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist in der Fig. 7 gezeigt. Gleiche Elemente wie in Fig. 5 sind mit den gleichen Bezugszeichen versehen. Insbesondere kann auch

der Störungsdetektor 32 in Fig. 7 den in Fig. 6 gezeigten Aufbau aufweisen.

Im Unterschied zur Schaltungsanordnung nach Fig. 5 ist bei der Schaltungsanordnung nach Fig. 7 der Ausgang der Abstandsregleinrichtung 27 direkt mit dem Eingang des Servoverstärkers 29 verbunden. Demgegenüber liegt der Schalter 28 am Eingang der Abstandsregelschaltung 27. Genauer gesagt ist der Schaltkontakt 28a des Schalters 28 mit dem Eingang der Abstandsregelschaltung 27 verbunden, während der Schaltkontakt 28c mit dem Ausgang der Sensoreinheit 25 verbunden ist. Der Schaltkontakt 28b des Schalters 28 ist mit dem Ausgang einer Filterschaltung 37 verbunden, deren Eingang mit dem Ausgang der Sensoreinheit 25 verbunden ist. Das bewegbare Schaltglied 28d wird über die Stellanrichtung 31 bewegt, um zwischen den Schaltkontakten 28b und 28c hin- und hergeschaltet zu werden. Die Stellanrichtung 31 wird wiederum vom Störungsdetektor 32 angesteuert.

Die Filterschaltung 37 weist eine extrem niedrige Grenzfrequenz auf, die z. B. bei 2 Hz liegen kann.

Wird durch den Störungsdetektor 32 eine Störung im Sensorsignal M detektiert, wie zuvor beschrieben, so wird für eine wählbare Zeit die zusätzliche Filterschaltung 37 hinter die Sensoreinheit 25 geschaltet, um die Störung im Sensorsignal M zu überbrücken. Hierzu wird das bewegbare Schaltglied 28d des Schalters 28 vom Schaltkontakt 28c auf den Schaltkontakt 28b umgeschaltet. Die vorwählbare Zeit steht auch hier wiederum in Übereinstimmung mit der Dauer der typischerweise auftretenden Störungen und läßt sich im voraus ermitteln.

Die Schaltungsanordnung nach Fig. 7 kommt vor allem dann zum Einsatz, wenn ein Eingriff auf die Abstandsregelung, wie dies in Fig. 5 dargestellt ist, nicht möglich ist. Bei der Schaltungsanordnung nach Fig. 7 wirkt vielmehr die Störungskompensation direkt auf das Sensorsignal M bzw. die Abstandsmeßspannung ein.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur kapazitiven Messung des Abstands zwischen einem Werkstück (2, 3) und einem Bearbeitungskopf (1; 18) unter Verwendung einer am Bearbeitungskopf (1; 18) angebrachten Sensorelektrode (11; 13; 21; 26) zur Lieferung eines dem Abstand entsprechenden Sensorsignals (M), dadurch gekennzeichnet, daß

- ein späterer Sensorsignalwert ( $M_{i+1}$ ) mit einem Vergleichswert (V) verglichen wird, der unter Heranziehung eines früheren Sensorsignalwerts ( $M_i$ ) gebildet worden ist,
- ein dem Vergleichswert (V) entsprechender Abstandswert wenigstens annähernd beibehalten wird, wenn der spätere Sensorsignalwert ( $M_{i+1}$ ) um mehr als einen vorbestimmten Betrag (S) kleiner ist als der Vergleichswert (V), und
- ansonsten die Ermittlung des Abstandswerts anhand des späteren Sensorsignalwerts ( $M_{i+1}$ ) erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorsignal (M) zur Bildung der Sensorsignalwerte ( $M_i$ ,  $M_{i+1}$ ) in periodischen Zeiträumen (t) abgetastet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Sensorsignalwert ( $M_i$ ,  $M_{i+1}$ ) der Maximalwert in den jeweiligen periodischen Zeiträumen (t) abgetastet wird.



räumen ( $\Delta t$ ) herangezogen wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung des Vergleichswerts (V) aufeinanderfolgende Sensorsignale ( $M_i, M_{i+1}$ ) gemittelt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergleichswert (V) nur durch den jeweils früheren Sensorsignale ( $M_i$ ) gebildet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß ein beizubehaltender Abstandswert über mehrere der periodischen Abtastzeiträume (t) beibehalten wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der vorbestimmte Betrag (S) für aufeinanderfolgende der mehreren Abtastzeiträume ( $t_i, t_{i+1}$ ) schrittweise vergrößert wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorsignal (M) einer Tiefpaßfilterung unterzogen wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorsignal (U) dadurch erzeugt wird, daß zwischen der Sensorelektrode (11; 13; 21; 26) und dem Werkstück (2, 3) verlaufende elektrische Feldlinien (12; 16) unmittelbar seitlich an einem Werkstück-Bearbeitungsbereich vorbeigeführt werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein unmittelbar oberhalb des Werkstück-Bearbeitungsbereichs liegender Bereich des Bearbeitungskopfs (1; 18) durch ein Schirmpotential abgeschirmt wird.

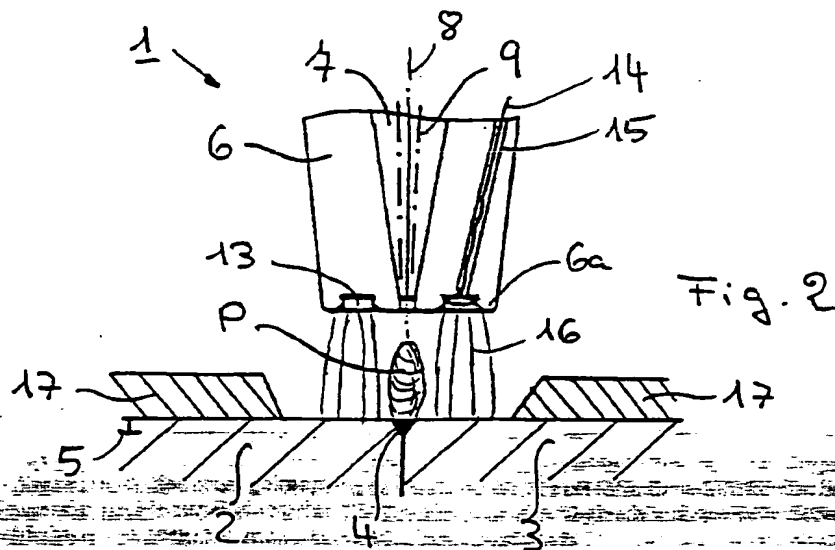
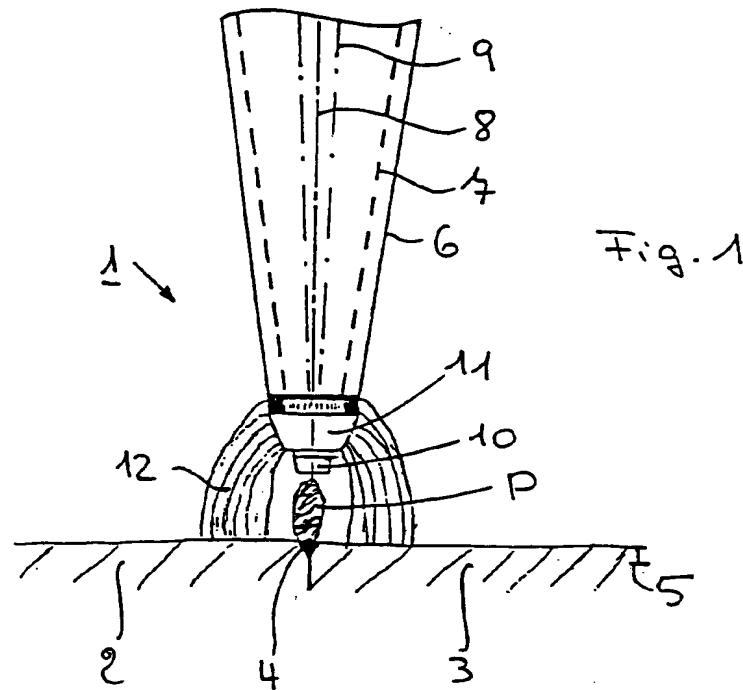
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorsignal (M) durch elektrische Feldlinien (12) erzeugt wird, die haubenartig relativ zum Werkstück-Bearbeitungsbereich verlaufen.

12. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorsignal (M) durch elektrische Feldlinien (13) erzeugt wird, die hohlzylinderartig relativ zum Werkstück-Bearbeitungsbereich verlaufen.

13. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Sensorsignal (M) durch elektrische Feldlinien an einer Stelle erzeugt wird, die in Bewegungsrichtung (B) des Bearbeitungskopfs (18) gesehen vor dem Werkstück-Bearbeitungsbereich liegt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß Abstandsmessung und Werkstückbearbeitung einander abwechselnd wiederholt ausgeführt werden.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen



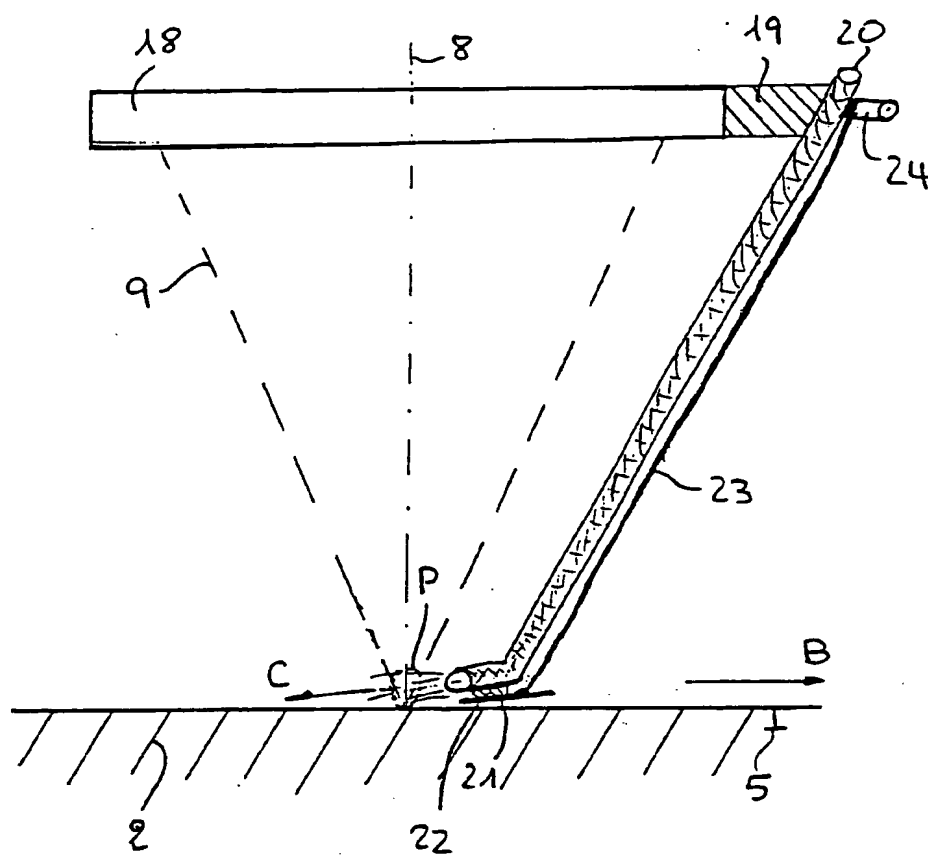


Fig. 3

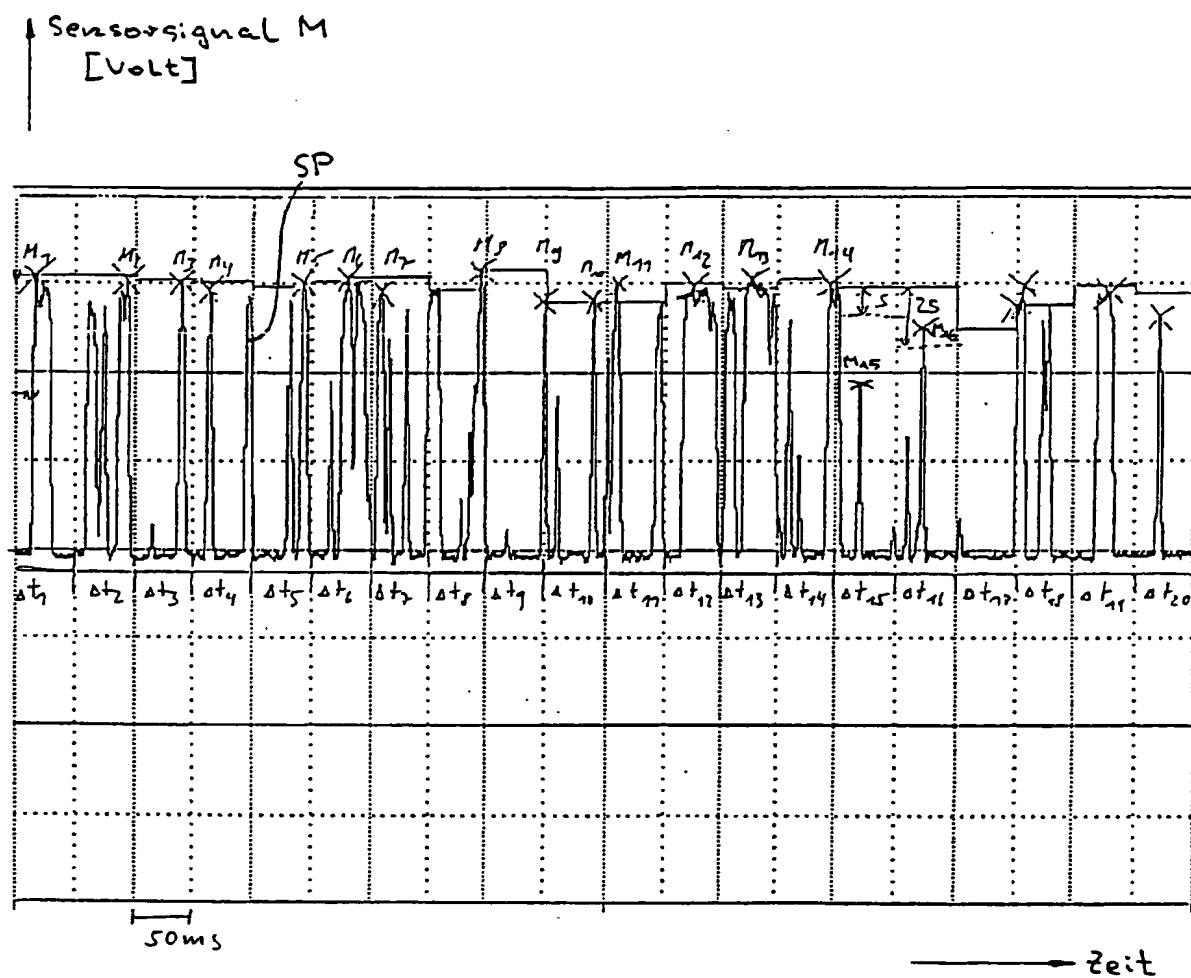


Fig. 4

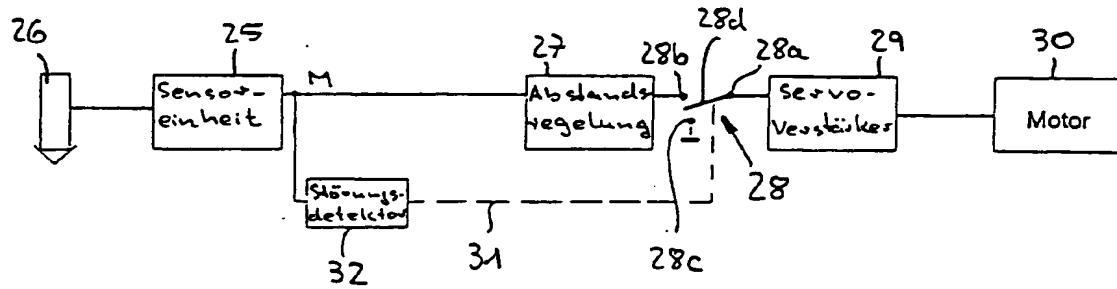


Fig. 5

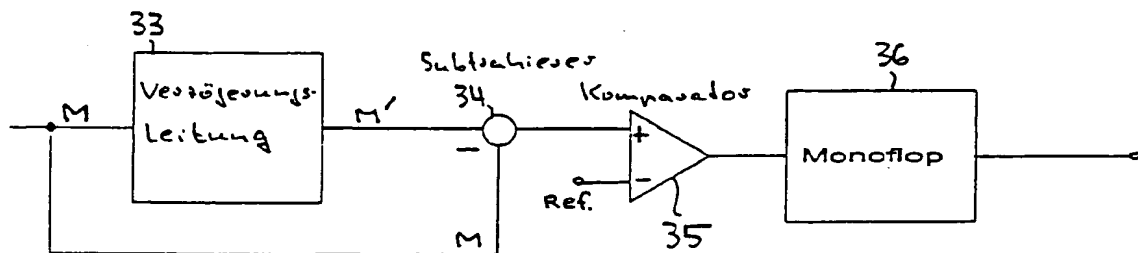


Fig. 6

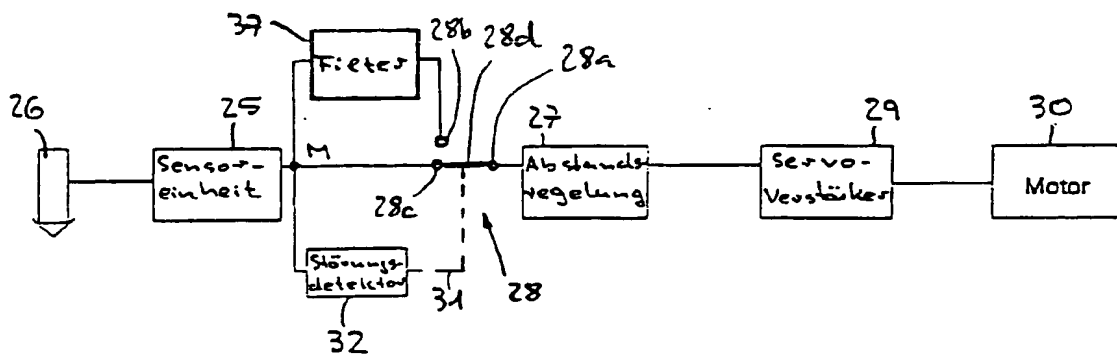


Fig. 7